

---

# EMISIONES ATMOSFÉRICAS Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN ESPAÑA. LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL Y EL PROTOCOLO DE KYOTO (\*).

---

**JORDI ROCA JUSMET**

Departamento de Teoría Económica  
*Universitat de Barcelona*

**EMILIO PADILLA ROSA (\*)**

Departamento de Economía Aplicada  
*Universitat Autònoma de Barcelona*

**LAS RELACIONES ENTRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y LAS DIVERSAS PRESIONES AMBIENTALES SON, SIN DUDA, COMPLEJAS. LAS ECONOMÍAS VARÍAN A LO LARGO DEL TIEMPO EN CUANTO AL PESO RELATIVO DE DIVERSAS ACTIVIDADES**

73

y en cuanto a las técnicas utilizadas. Por ello, no podemos suponer sin más que un determinado aumento de escala en la actividad económica tendrá un aumento equivalente en todos y cada uno de los flujos que están en la base de los diferentes problemas ambientales.

En los últimos años ha tenido una gran repercusión una hipótesis muy específica sobre la relación entre las presiones ambientales (o a veces los indicadores de estado ambiental) y la renta *per cápita*: la llamada «forma de U invertida» (gráfico 1), según la cual, en un primer estadio, el

crecimiento económico tiene efectos ambientales negativos, pero, a partir de un nivel crítico de renta *per cápita*, la situación ambiental mejora a medida que se dan ulteriores aumentos de esta última.

Aunque los resultados empíricos son parciales, diversos, y muchas veces contradictorios, algunos economistas celebraron el supuesto hallazgo como demostración de que «hay una evidencia clara de que, a pesar de que el crecimiento económico habitualmente conduce a degradación ambiental en una etapa inicial del proceso, finalmente la mejor —y probablen-

te la única— vía de conseguir un medio ambiente decente en la mayoría de países es que se hagan ricos» (Beckerman, 1992, p. 48).

Parece ser que fue Panayotou (1993) el primero en utilizar el término ya habitual de Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para referirse a esta hipótesis, por su similitud con la relación que este autor sugirió —con muchas cautelas— que podía existir entre el nivel de desigualdad y la renta *per cápita* (Kuznets, 1955). Buena prueba de cómo la hipótesis de la CKA ha centrado el debate sobre los efectos ambientales

del crecimiento económico en los últimos años es que en los años noventa diversas revistas académicas dedicaron números especiales al tema, como son los casos de *Ecological Economics* (vol. 25, 1998) y *Environment and Development Economics* (vol. 2, 1997). (Gráfico 1).

Las razones de la gran difusión de la hipótesis seguramente tienen que ver, además de por la asociación con el nombre de un prestigioso economista, con el hecho de que da una perspectiva tranquilizadora, ya que parece que permite conciliar fácilmente las actuales preocupaciones por la «sostenibilidad» con la búsqueda del crecimiento económico como principal guía de la política económica.

En este sentido es significativo que el primer estudio empírico en el que se fundamenta la CKA (Grossman y Krueger, 1991), basado en datos procedentes de varios países referidos concentraciones urbanas de diferentes contaminantes atmosféricos, era parte de un trabajo que discutía las posibles implicaciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, de forma que la conclusión —si el mayor comercio internacional producía mayor crecimiento económico para México, también supondría finalmente menor degradación ambiental— no podía ser más favorable al pensamiento económico dominante.

Además, el segundo de los estudios empíricos sobre el tema, de Shafik y Bandyopadhyay (1992), fue particularmente influyente al ser ampliamente utilizado en el informe *World Development Report*, de 1992, del Banco Mundial.

Si bien existe cierta evidencia empírica de que *algunos* problemas ambientales han disminuido en los países ricos, ninguno de los contaminantes que se han considerado en la literatura muestra seguir de forma inequívoca la hipótesis de la CKA (Ekins, 1997; de Bruyn y Heintz, 1999) y también se ha cuestionado mucho si las técnicas econométricas utilizadas permiten derivar la relación de causalidad que supone esta hipótesis (Stern y Common, 2001).

Muchos autores afirman que es factible que la hipótesis de la CKA únicamente se

cumpla en el caso de contaminantes con efectos locales y a corto plazo, donde los impactos ambientales y sobre la salud son más claros y los costes de actuación menores (caso del SO<sub>2</sub>), mientras que en el caso de contaminantes con efectos más globales, a más largo plazo y cuya reducción es más complicada (caso del CO<sub>2</sub>), la presión ambiental aumentaría con el nivel de renta. De hecho, la interesante conclusión del propio estudio de Shafik y Bandyopadhyay (1992) fue que la confrontación de diferentes indicadores de presión o degradación ambiental con la renta *per cápita* llevaba, dependiendo de los casos, a curvas decrecientes, en forma de U invertida, o crecientes.

La hipótesis no sería, por tanto, en absoluto generalizable a la relación global entre economía y medio ambiente. Además, es importante destacar que la degradación ambiental no sólo se explica por los flujos actuales de emisiones o las concentraciones de contaminantes, sino que depende de la historia de las presiones ambientales que afectan a la situación de los ecosistemas y que a veces comportan cambios irreversibles (Arrow *et al.*, 1995).

Un aspecto particularmente importante para la valoración de los datos es que siempre se ha de ser consciente de que la mejora de un indicador podría no sólo coexistir sino explicarse por el comportamiento negativo de otro indicador; un ejemplo relevante de esta posibilidad sería cuando se reducen las emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles debido a la creciente utilización de energía nuclear.

Este problema ha llevado a que algunos estudios consideren alguna *proxy* de presión ambiental total. Así, Suri y Chapman (1998) utilizan el uso global de energía, aunque hay que destacar que, a pesar de que muchas presiones ambientales van ligadas al uso de energía, no todas ellas dependen del sistema energético y, además, desde el punto de vista ambiental tan importante como la cantidad total de energía utilizada es su composición por fuentes energéticas.

Otra alternativa es partir de los indicadores globales que se obtienen del análisis del «metabolismo económico» a partir de

la contabilidad del flujo de materiales que se ha llevado a cabo para diversos territorios, entre ellos para el español y algunas de sus regiones (ver diversos artículos de este mismo volumen). En nuestra opinión, este tipo de contabilidad agregada, que parte en primera instancia de los flujos totales de materiales para abrir después la posibilidad de análisis más desagregados, es el punto de partida más adecuado para empezar a analizar las relaciones entre economía y naturaleza.

Además, dado el elevado grado de desconocimiento sobre los problemas ambientales que generan el uso de los diferentes materiales, puede argumentarse que, en principio, conforme más materiales se utilicen más probabilidad existirá de que se generen más impactos ambientales (Spangenberg *et al.*, 1999; Hintenberger *et al.*, 1997). Sin embargo, creemos que los indicadores agregados obtenidos —tanto de entradas como de salidas globales— no pueden considerarse directamente como indicadores de presión ambiental total, tanto por el elevado nivel de agregación de materiales como por el hecho de que muchas presiones ambientales no sólo dependen del total y la composición de materiales que entran y salen de la economía, sino también de la forma en que se gestionan los flujos de salida.

Así, por poner dos ejemplos relacionados con la contaminación atmosférica, la misma cantidad y calidad de carbón provocará muy diferentes emisiones de óxidos de azufre según que existan o no medidas específicas para reducir las emisiones y, otro ejemplo, los mismos residuos generados provocarán emisiones muy diferentes según sean incinerados o vayan a un vertedero y según este vertedero tenga o no sistemas de recuperación del metano generado en la descomposición de residuos. Se debe, por tanto, proceder también a análisis más desagregados de flujos materiales, aunque los resultados deberán interpretarse con cautela atendiendo al conjunto de cambios que explican la evolución de dichos flujos.

Vale la pena destacar la dificultad para justificar de forma teórica que en la relación entre crecimiento económico y presiones ambientales predomine el com-

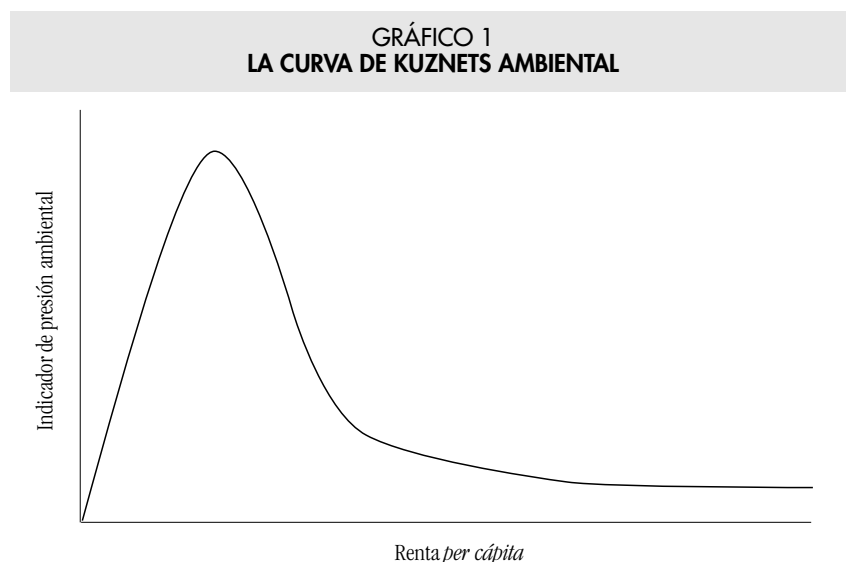
portamiento descrito por la hipótesis de la CKA, que se suele definir no como la mera posibilidad o probabilidad de que el crecimiento económico coexista con menores presiones ambientales, sino como que es el propio crecimiento de la renta *per cápita* el que explica que las presiones ambientales disminuyan.

De ser así, ello debería explicarse por algún tipo de cambio endógeno, ligado al propio crecimiento de la renta *per cápita*. Se abren tres posibilidades. Mientras que las dos primeras son, en principio, independientes de los cambios en las decisiones —individuales o colectivas— respecto a la conservación ambiental, la tercera se centra en estos cambios.

Una primera posibilidad sería que la mayor renta *per cápita* comportase por sí misma una evolución tecnológica con un sesgo favorable a la reducción de las presiones ambientales. No parece haber argumentos convincentes que permitan generalizaciones de este tipo. Las nuevas teorías del crecimiento han destacado, con razón, el importante papel de la acumulación de conocimientos en el crecimiento económico y parece razonable pensar que dicho conocimiento acumulado ayudará a utilizar los diferentes recursos —y, en particular, los naturales— de forma más eficiente.

Sin embargo, el cambio tecnológico va mucho más allá de la utilización más eficiente de los recursos para unas técnicas básicamente inalteradas y comporta nuevos procesos y nuevos productos con presiones ambientales asociadas que no tienen por qué ser menos preocupantes que las presiones asociadas a las anteriores tecnologías; en realidad, los países más ricos no sólo son muchas veces pioneros en las innovaciones que permiten reducir las presiones ambientales, sino también en las que generan los mayores riesgos ambientales (piénsese en la introducción de multitud de nuevas sustancias químicas o en la historia de la energía nuclear).

Además, cabe señalar que los efectos finales de los cambios tecnológicos no siempre son fácilmente previsibles. Así, como se ha discutido en economía de la energía, el propio aumento de la efi-



FUENTE: Elaboración propia.

ciencia en el uso de un recurso natural podría estimular su demanda, reduciendo —o incluso anulando en casos extremos— el efecto reductor del aumento de eficiencia. Por ejemplo, si los vehículos son más eficientes y usan menos gasolina, ello abaratará el servicio de desplazarse en coche y puede estimular el uso del coche y del consumo de gasolina.

A este efecto se le ha llamado «efecto rebote» (Schipper, 2000) y, para referirse al peor caso posible en el que el efecto final del aumento de eficiencia sería un mayor uso del recurso, a veces se utiliza el término «paradoja de Jevons» (Giampietro, 1999), por la alusión al tema del famoso economista inglés en su libro *The Coal Question* (1865), cuando discutía la relación entre cambio tecnológico y uso de carbón.

La segunda explicación potencial sería que la propia evolución autónoma de la estructura de la demanda final comportase una menor presión ambiental a medida que crece la renta *per cápita*. La evidencia en que suele justificarse este argumento es el creciente peso de las demandas orientadas al sector servicios a expensas de las orientadas al sector industrial.

Sin embargo, este argumento requeriría mucha más investigación empírica, pues-

to que algunas actividades englobadas en los servicios pueden generar tanta o más presión ambiental (directa y/o indirecta) que otras integradas en el sector industrial (piénsese, por ejemplo, en el turismo a larga distancia).

En cualquier caso, lo máximo que podríamos explicar con este argumento es la reducción de las presiones ambientales *por unidad de renta* a medida que crece la renta, pero no explicaríamos una reducción de dichas presiones en términos absolutos, a menos que supongamos que los sectores ambientalmente más problemáticos son los que producen bienes inferiores, lo que no es en absoluto probable (Torras y Boyce, 1998). Es decir, el cambio en la estructura de la demanda justificaría quizás una «desvinculación relativa», pero no «absoluta», entre crecimiento económico y presiones ambientales utilizando la relevante distinción de De Bruyn y Opschoor (1997) (ver también Roca y Alcántara, 2002). En otras palabras, la elasticidad renta de las presiones ambientales podría resultar, según este argumento, inferior a la unidad pero no negativa.

El tercer argumento es que son las preferencias de los individuos las que explican que, una vez se alcanza un determinado nivel de renta, cambia la combinación escogida entre bienes y servicios «produci-

bles» y calidad ambiental, de forma que se decide consumir más «calidad ambiental», aunque sea a costa de un consumo del resto de otros bienes y servicios menor que el potencial (o de una composición diferente a la que, prescindiendo del factor ambiental, sería la más deseable). Aunque con especificaciones diferentes, esta idea es la que hay detrás de modelos como los de McConnell (1997), Selden y Song (1995) y López (1994) (para una discusión más amplia, ver Roca, 2003).

En todos estos modelos se consideran individuos idénticos —o, lo que viene a ser lo mismo, un individuo representativo de la sociedad—, cuya función de utilidad depende tanto del nivel de consumo como del nivel de contaminación. Se supone que un «planificador social» decide la combinación consumo-contaminación que, dadas las restricciones existentes, maximiza la utilidad del agente representativo. La conclusión es que una elevada «elasticidad-renta de la calidad ambiental» —es decir, que los individuos se preocupen más y más por la calidad ambiental cuanto más ricos sean— haría muy probable que con el aumento de renta disminuyese también la contaminación. Estos modelos comparten algunas limitaciones importantes.

La calidad ambiental es, casi siempre, un bien público cuyo nivel de provisión no se puede decidir a nivel individual, sino que se resuelve principalmente en la arena política, y la idea de que los individuos deciden «comprar» calidad ambiental es una metáfora que no puede llevarse demasiado lejos. Las decisiones sobre política ambiental (por ejemplo, imponiendo regulaciones o impuestos) se deciden en el ámbito político.

Además, cuando existen diferentes individuos hay que tener en cuenta las desigualdades, en preferencias, en renta y en participación en los costes de la degradación ambiental y aparecen conflictos de percepciones y de intereses que pueden resolverse de diversas formas.

La conclusión importante es que, incluso si nos referimos a una presión ambiental cuyos efectos recaen totalmente sobre la propia población actual del marco territo-



rial en que se toman las decisiones de política ambiental, la misma evolución de la renta *per cápita* llevará a diferentes decisiones, dependiendo de cómo se distribuyan los costes y beneficios de la degradación ambiental, de cómo se resuelvan los conflictos que ello genere y de las instituciones que canalicen estos conflictos.

La propia definición de qué costes y qué beneficios deben considerarse y cuál es su valoración depende de cómo se definen los derechos, una cosa que tiende a olvidarse por el enfoque habitual de la eficiencia, pero que es fundamental para la tradición de la economía institucional de autores como Kapp y Ciriacy-Wantrup (véanse Aguilera Klink (ed.), 1995; Bromley, 1990).

Por otro lado, las actividades de un país provocan frecuentemente presiones ambientales que recaen —al menos en parte— en otros países, con lo que el posible *desplazamiento de costes ambientales* entre grupos sociales adquiere otra dimensión. El desplazamiento *espacial* hacia otros territorios se da, a veces, de forma inevitable, por la propia característica del problema ambiental, como la contaminación atmosférica que se desplaza cruzando fronteras o la contaminación de los ríos que, aguas abajo, atraviesa también fronteras; o como los problemas de carácter global —como el

aumento del efecto invernadero—, cuyos efectos recaen sobre todos, independientemente de dónde se originen. Cuanto mayor sea la parte de los efectos ambientales que recaiga fuera de las fronteras de la entidad política que toma las decisiones, menos probable es que el crecimiento económico lleve a decisiones que reduzcan las presiones ambientales.

En el caso de los problemas ambientales más locales aparece otra vía indirecta —y muy relevante— a través de la cual se puede producir un desplazamiento de costes ambientales —la del comercio exterior (Muradian y Martínez-Alier, 2001)— que con razón ha llevado a considerar que las posibles CKA podrían derivar no de una mejora ambiental genuina, sino de una exportación de problemas ambientales a otros territorios (Arrow *et al.*, 1995; Stern *et al.*, 1996), con lo que no sólo debería pensarse en la posible emigración de actividades industriales contaminantes sino, seguramente mucho más importante, en el conjunto de impactos asociados a las actividades primarias destinadas a abastecer las enormes necesidades de materiales y de energía de las sociedades ricas.

El otro caso muy relevante de desplazamiento de costes es, por supuesto, el *intergeneracional*; cuando los problemas se trasladan al futuro lejano, las supuestas preferencias sobre consumo personal de más bienes y servicios o de más «calidad ambiental» son irrelevantes. En este caso, los incentivos para renunciar a un mayor consumo para preservar la situación ambiental pueden no existir o, en cualquier caso, derivan de actitudes que no tienen por qué estar correlacionadas positivamente con el nivel de renta *per cápita*; más bien parece, al contrario, que los valores que impulsan el deseo de consumo sin límite favorecen dejar de lado estas preocupaciones.

El hecho de que sean algunas de las presiones ambientales que contribuyen a problemas globales y con efectos a largo plazo las que más claramente se correlacionan positivamente con el nivel de renta *per cápita*, incluso para niveles muy elevados de ésta, es previsible, dadas las consideraciones anteriores.

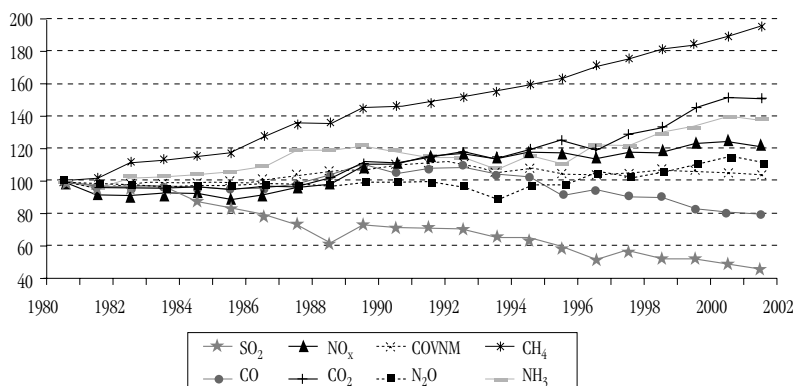
## LA CONTAMINACIÓN EN ESPAÑA. 1980-2001: UNA VISIÓN DE CONJUNTO

La mayoría de los estudios a los que hemos hecho referencia en el apartado anterior se han basado en el análisis de datos procedentes de diversos países. A pesar del interés de dicha perspectiva, la deducción de curvas de relación entre renta *per cápita* y emisiones contaminantes a partir de este tipo de datos conlleva suponer implícitamente que «aunque el nivel de emisiones *per cápita* podría diferir entre diversos países para un nivel determinado de renta, la elasticidad de las emisiones respecto al nivel de renta es la misma para todos los países, dado un determinado nivel de renta» (Stern, 2003, p. 5), un supuesto que es particularmente problemático (Dijkgraaf y Vollebergh, 1998). Ésta es una de las razones que hace necesario el estudio, desde una perspectiva histórica, de la experiencia de cada país como la que aquí llevamos a cabo.

En este apartado presentamos una visión de conjunto de la relación entre renta *per cápita* y diversos contaminantes atmosféricos para el caso español entre los años 1980 y 2001, con lo que actualizamos y ampliamos el análisis llevado a cabo en Roca *et al.* (2001). Hemos considerado los flujos totales de los ocho contaminantes atmosféricos para los que disponemos de series históricas oficiales para el período considerado (1).

Uno de los aspectos interesantes del análisis es la variedad de contaminantes considerados: algunos con efectos globales y otros con efectos de carácter más regional y/o local, algunos con multitud de focos de emisión y otros con las emisiones mucho más concentradas. En concreto, hemos considerado los tres principales gases de efecto invernadero considerados en el Protocolo de Kyoto sobre cambio climático —dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)— (2), así como algunos de los principales gases que se asocian con otros problemas de contaminación atmosférica: los óxidos de azufre (medidos en unidades de SO<sub>2</sub> equivalente), los óxidos de nitrógeno

GRÁFICO 2  
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES EN ESPAÑA. 1980-2001  
1980=100



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos del M<sup>e</sup> de Medio Ambiente.

(NO<sub>x</sub>), el amoníaco (NH<sub>3</sub>), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM).

Es importante advertir que la relación entre los flujos de contaminación anual (aquí analizados) de los cinco últimos contaminantes y las concentraciones de contaminantes es a veces muy compleja, pudiendo depender, entre otros factores, de la mayor o menor concentración espacial y temporal de dichos flujos y de procesos de dispersión y transformación (por ejemplo, algunos contaminantes «primarios» dan lugar a otros «secundarios» como el ozono troposférico).

Por otro lado, si bien todos estos contaminantes «clásicos» considerados tienen clara relevancia ambiental, no deberíamos olvidar que podría estarse dando un aumento de las emisiones de una creciente gama de contaminantes tóxicos de los cuales muchas veces ni tan sólo disponemos de estimaciones continuas de datos, aunque pueden suponer una amenaza tanto o más importante que los anteriores (Dasgupta *et al.*, 2002, pp. 162-163).

Una primera aproximación a las tendencias durante el período considerado nos permite avanzar algunas conclusiones sobre el supuesto proceso de desvinculación entre crecimiento económico y presión ambiental que se derivaría de las versiones más optimistas de la hipótesis de la CKA. Las emisiones globales (gráfico 2) en el conjunto del período aumentan

mucho en el caso del metano, que casi se doblan; también aumentan muy significativamente para otros tres gases considerados (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>). En cambio, para el N<sub>2</sub>O y los compuestos orgánicos volátiles las tendencias son menos claras, si bien el flujo de emisión en el 2001 es en ambos casos superior al de 1980.

Sólo en el caso del SO<sub>2</sub>, las emisiones disminuyen continuamente y de forma muy apreciable, como cabría esperar de cumplirse la CKA y suponiendo que España a principios de los ochenta hubiese alcanzado un nivel de renta *per cápita* suficientemente elevado como para situarse ya en el tramo decreciente de dicha curva, mientras que las emisiones de CO también disminuyen, pero de forma mucho menos acusada y mucho más concentrada en los últimos años.

Puede argumentarse que, para el debate sobre la CKA, los datos a utilizar no deberían ser los de emisiones, sino los de emisiones *per cápita*. Sin embargo, dado que la población española entre 1980 y 2001 aumentó muy moderadamente, podemos ver cómo las tendencias del gráfico 3 son prácticamente idénticas a las del gráfico 2, si bien, lógicamente, los índices se sitúan en valores siempre algo más bajos. Lo importante a destacar es que tampoco se aprecia ninguna tendencia a la disminución, excepto en el caso del SO<sub>2</sub>, el CO y quizás un muy ligero decrecimiento para los compuestos orgánicos volátiles en los años noventa.

La hipótesis de la CKA no mantiene que sea el simple paso de los años el que explica la supuesta disminución de la presión ambiental —como sería si aparecieran innovaciones técnicas en este sentido que se aplicasen de forma más o menos generalizada, pero sin relación directa con el nivel de renta—, sino que el desencadenante serían los cambios que comporta el crecimiento económico. En 2001 el nivel de renta «real» *per cápita* era considerablemente más elevado que en 1980, pero en estas dos décadas hay etapas muy diferentes por lo que se refiere a la variación anual de dicha renta.

Es por ello interesante relacionar directamente las emisiones *per cápita* con el PIB «real» *per cápita* como se hace en el gráfico 4 (3). Las figuras resultantes son más complejas pero, de nuevo, podemos afirmar que no parece en absoluto que exista una correlación entre crecimiento económico y menores emisiones: la excepción es el SO<sub>2</sub> —y, en mucho menor medida, el CO—, cuyas evoluciones serían las únicas esperadas según la hipótesis de la CKA, a menos que se crea que España —con un nivel medio de consumo incomparablemente mayor que la inmensa mayoría de la población mundial— aún no es suficientemente rica para que se vean los efectos ambientales positivos que de forma general se asociarían con el crecimiento económico, cosa en la que no creemos y que, en todo caso, no invitaría demasiado al optimismo.

En cuanto al análisis de las actividades generadoras de emisiones, cabe señalar que la mayor parte de emisiones provienen de la quema de combustibles fósiles, tanto para generar electricidad, como para transporte y procesos industriales. Las principales fuentes de emisiones serían las del sector energético, básicamente para generar electricidad, por encima del 30%, y el transporte, que en el año 2001 suponía en total, aproximadamente, la tercera parte de las emisiones.

Cabe destacar que todas las actividades han aumentado sus emisiones a lo largo del período 1990-2001, y de forma destacada el transporte por carretera, que pasa de representar el 22,6% al 26,4% del total (4). En cuanto a los procesos industriales sin combustión, que representan un 8% de las emisiones totales, casi las tres cuartas partes se deberían a la industria del cemento.

En la última década se han publicado varios estudios estimando la relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> *per cápita* y PIB *per cápita* utilizando datos de panel de varios países. Los resultados son variados, si bien, en general, se rechaza la hipótesis según la cual un mayor crecimiento económico conllevaría una disminución de emisiones. La mayoría de trabajos encuentran una relación positiva entre nivel de PIB y emisiones (Shafik, 1994); alguno estima que los niveles de renta a partir de los que se da la esperada desvinculación entre crecimiento económico y las emisiones son elevadísimos, de forma que la disminución sería en todo caso puramente hipotética (Holtz-Eakin y Selden, 1995), mientras que en alguno (Grossman y Krueger, 1995) se ha deducido una relación entre emisiones y renta en forma de N, lo que implica que se daría un segundo punto de inflexión, a partir del cual el crecimiento provocaría de nuevo mayores emisiones.

También cabe citar un estudio longitudinal sobre la evolución de las emisiones de carbono *per cápita* en 16 países de la OCDE entre 1950-1992 (Unru y Moomaw, 1998), con la interesante conclusión de que en todos ellos (con una única excepción), en los años posteriores a 1973, se produce claramente un cambio de comportamiento en relación con las tendencias anteriores.

Es evidente que ello se explica por un *shock* común que afecta a economías con muy diferentes niveles de ingreso *per cápita*; el nivel de dicho ingreso no es, pues, la variable relevante para explicar el cambio de comportamiento. La idea de que las trayectorias de las emisiones cambian debido a *shocks* es aplicable no sólo a cambios bruscos de precios, sino a otros muchos casos, como pueden ser cambios importantes en la política ambiental que impongan una nueva regulación (como es, evidentemente, el caso de la prohibición del uso de plomo en la gasolina).

A continuación se estima mediante métodos econométricos la correlación existente entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el PIB *per cápita* en el caso español (5). Al realizarse los cálculos —tanto en este caso como en el resto— tomamos las series en logaritmos, de forma que los coeficientes pueden interpretarse en términos de elasticidades: el coeficiente de cada una de las variables independientes nos muestra aproximadamente el porcentaje en que cambiaría la variable dependiente con un 1% de variación en la variable independiente.

Una primera estimación relacionando emisiones *per cápita* y PIB presentaba problemas de autocorrelación en los residuos estimados. Este primer resultado no indica que renta y emisiones no estén correlacionadas, sino que la relación puede quedar distorsionada por la influencia que ejercen otras variables explicativas omitidas. Para la elaboración del modelo econométrico estimado finalmente se tuvo en cuenta que las emisiones de CO<sub>2</sub> se explican, en primer lugar, por el consumo energético, previsiblemente muy relacionado con la renta, y, en segundo lugar, por la estructura de la oferta energética.

Como consecuencia, los cambios en dicha estructura actuarán como factores explicativos de los cambios en la relación entre renta y emisiones. Los cambios que, conociendo la evolución de la estructura energética en España, parecían de más relevancia eran en el uso del carbón y de la energía nuclear. En concreto, el modelo estimado es:

$$\ln(\text{CO}_2/\text{POB})_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{PIB}/\text{POB})_t + \beta_2 \ln(\text{carbón})_t + \beta_3 \ln(\text{nuclear})_t + \varepsilon_t$$

## ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

### LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

En la evolución de las emisiones de dióxido de carbono (gráfico 2) a lo largo del período se distinguen dos etapas: una primera etapa durante la mayor parte de los ochenta, en la cual se da una relativa estabilización en las emisiones, y una segunda etapa en que se produce, salvo coyunturales disminuciones no significativas, un importante crecimiento de las emisiones.

en el cual aparecen, además de las emisiones y el PIB *per cápita*, las variables correspondientes a la proporción que para los diferentes años supone el carbón en el total de energía primaria ( $\text{Carbon}_t$ ); y la proporción de la energía nuclear sobre el total de energía primaria ( $\text{Nuclear}_t$ ) (datos de AIE, varios años).

Los resultados de la estimación muestran una importante relación positiva entre el PIB y las emisiones de  $\text{CO}_2$ . El coeficiente indica que la elasticidad entre las dos variables es superior a la unidad (1,37), de forma que, si prescindieramos de los cambios en la estructura energética, las emisiones habrían tendido a aumentar a un ritmo incluso superior al del PIB. Por tanto, lejos de darse la desvinculación entre emisiones y renta postulada por la hipótesis de la CKA, no se habría producido ni siquiera una «desvinculación relativa» entre emisiones y uso de energía primaria, sino que la intensidad energética tendería a aumentar conforme aumenta el PIB.

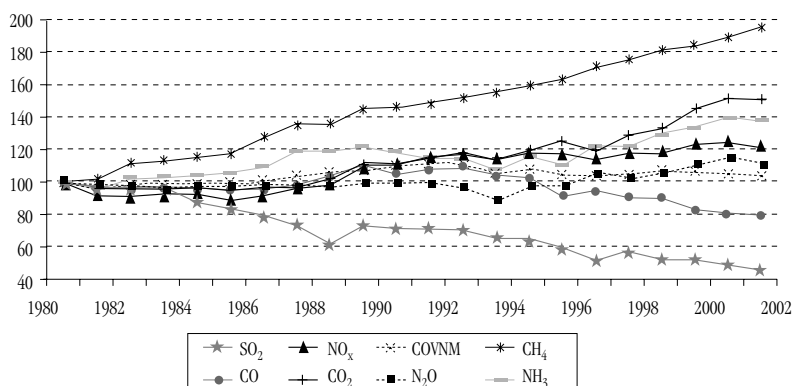
La relación entre emisiones y PIB se ve, sin embargo, significativamente influida también por dos factores que actúan en sentido contrario: por un lado, la proporción de carbón respecto al total de energía primaria que, cuando aumenta, hace aumentar las emisiones; por otro, la importancia relativa de la energía nuclear, que afecta en sentido contrario.

De estos dos factores, en España el más importante fue el segundo, ya que durante los años ochenta se produjo un aumento en el uso de energía nuclear que explica que las emisiones totales de  $\text{CO}_2$  aumentaran en el conjunto del período analizado menos que el aumento experimentado por el PIB y que en los primeros años no aumentasen en absoluto: un buen ejemplo de cómo un indicador ambiental puede no empeorar debido a que otro —en este caso el riesgo nuclear— empeora (6).

#### LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE ( $\text{SO}_2$ )

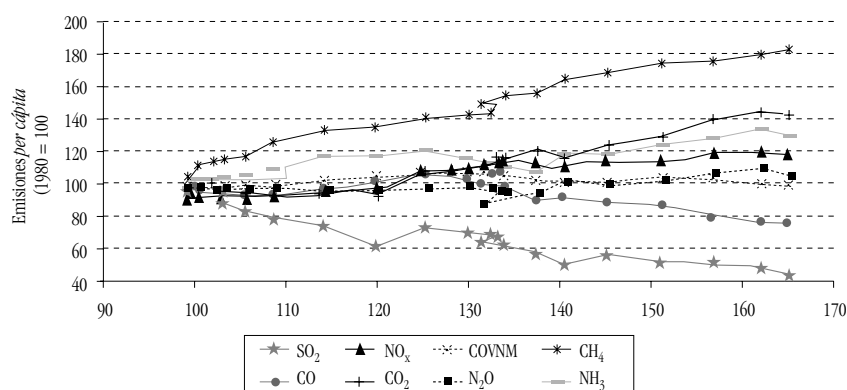
Las emisiones de  $\text{SO}_2$  en España, como en la mayoría de países ricos, están bastante focalizadas. En concreto, más del 70% se generan en la producción y transformación de energía (el 65% en centrales térmicas

GRÁFICO 3  
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES *PER CÁPITA* EN ESPAÑA. 1980-2001  
1980=100



FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos del Mº de Medio Ambiente y el INE.

GRÁFICO 4  
RELACIÓN ENTRE EL PIB «REAL» *PER CÁPITA*  
Y LAS EMISIONES *PER CÁPITA* EN ESPAÑA. 1980-2001  
PIB *PER CÁPITA*, 1980=100



FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos del Mº de Medio Ambiente y el INE.

CUADRO 1  
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN.  
LA VARIABLE DEPENDIENTE ES  $\ln(\text{CO}_2/\text{POB})_t$ , 1980-2000

Variable		Coeficiente	Estadístico-t
Constante	( $\beta_0$ )	-5,04	-65,21
$\ln(\text{PIB}/\text{POB})_t$	( $\beta_1$ )	1,37	15,13
$\ln(\text{carbón})_t$	( $\beta_2$ )	0,24	4,15
$\ln(\text{nuclear})_t$	( $\beta_3$ )	-0,15	-10,30
$R^2$ ajustado: 0,97			
Durbin-Watson: 2,49			

FUENTE: Elaboración propia.

tradicionales de generación de electricidad y un 5% en refinерías) (ver cuadro 2). Además, este tipo de emisiones pueden redu-

cirse fácilmente aplicando medidas no demasiado costosas (en algunos casos simples medidas de «final de tubería»). Incluso

algunas decisiones de política económica, como eliminar las subvenciones al carbón nacional, aunque difíciles, comportarían un ahorro neto para la sociedad (7).

Las emisiones de azufre se producen sobre todo en la quema de carbón y de ciertos derivados del petróleo. A pesar de que las emisiones de las centrales termoeléctricas han disminuido continúan siendo el mayor foco emisor de  $\text{SO}_2$ . Es la existencia de centrales térmicas de carbón muy contaminantes, algunas de ellas de las más contaminantes de Europa, lo que explica que las emisiones *per cápita* españolas se sitúen muy por encima de la media europea (Eurostat, 1999, p. 18), un hecho que queda reflejado en la concentración provincial de las emisiones; así, en el año 1996 casi el 60% de las totales correspondía a cuatro provincias: La Coruña (26,4%), Teruel (18,4%), León (7,2%) y Asturias (6,4%) (8). Otra actividad que también aglutina un importante porcentaje, aunque muy por debajo del sector anterior, es la combustión industrial.

El resto de sectores tienen una aportación relativa muy inferior, no sobrepasando en ningún caso el 4% y sin que hayan experimentado cambios sustanciales durante el período considerado.

A continuación realizamos una estimación econométrica para profundizar en el análisis de los factores que hay detrás de la disminución de emisiones. Un primer modelo, en el que la variable dependiente es la emisión de  $\text{SO}_2$  *per cápita* y la variable explicativa el PIB *per cápita*, tenía problemas de autocorrelación, con lo que se incluyeron en la estimación diversas variables explicativas.

En concreto, se incluyeron indicadores de uso de los combustibles que más contribuyen a las emisiones de azufre: el carbón y el fuel-oil. Además, se introdujo una tendencia temporal para contrastar si el paso del tiempo, con la adopción de medidas y mejoras tecnológicas, tenía mayor poder explicativo que la propia evolución del PIB. Tras realizar diversas pruebas, la ecuación con mayor capacidad explicativa resultó ser la siguiente:

$$\ln(\text{SO}_2/\text{POB})_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{carbón}/\text{POB})_t + \beta_2 \ln(\text{Termipet}/\text{POB})_t + \beta_3 \text{tendencia} + \epsilon_t$$

CUADRO 2  
EMISIONES DE  $\text{SO}_2$  EN LOS DIFERENTES SECTORES

	1990		2001		% variación
	Toneladas	% del total	Toneladas	% del total	
Producción y transformación energía	1.607.362	73,66	1.033.567	72,54	-35,70
Combustión industrial	340.463	15,60	237.640	16,68	-30,20
Otros	234.391	10,74	153.699	10,79	-34,43
<b>TOTAL</b>	<b>2.182.216</b>	<b>100,00</b>	<b>1.424.906</b>	<b>100,00</b>	<b>-34,70</b>

FUENTE: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

CUADRO 3  
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN.  
LA VARIABLE DEPENDIENTE ES  $\ln(\text{SO}_2/\text{POB})_t$ , 1980-2000

Variable	Coefficiente	Estadístico-t
Constante ( $\beta_0$ )	1,45	1,65
$\ln(\text{carbón}/\text{POB})_t$ ( $\beta_1$ )	0,44	4,21
$\ln(\text{Termipet}/\text{POB})_t$ ( $\beta_2$ )	0,08	4,07
Tendencia ( $\beta_3$ )	-0,04	-24,28

$R^2$  ajustado: 0,97

Durbin-Watson: 1,47

FUENTE: Elaboración propia.

El resultado de la estimación coincide con lo previsible. El uso de carbón *per cápita* y —muy secundariamente— la producción de electricidad *per cápita* en centrales térmicas de fuel-oil tienen un efecto positivo en las emisiones. No obstante, si esto fuera todo, no cabría esperar en absoluto la disminución observada de las emisiones: un 50% en los veinte años analizados.

Es destacable el valor negativo muy significativo de la tendencia temporal, lo que sin duda refleja cambios técnicos tanto por el creciente uso de combustibles con menor contenido de azufre como, sobre todo, con la instalación de sistemas de control de las emisiones. Tales cambios, relativamente poco costosos, pueden considerarse propios de los países ricos. Sin embargo, vale la pena destacar que no parece existir una correlación muy clara entre el nivel concreto de renta *per cápita* de cada año y la evolución de las emisiones, como muestra el hecho de que si al modelo econométrico le añadimos el PIB *per cápita*, el coeficiente resulta no significativo y la capacidad explicativa del modelo disminuye.

El modelo econométrico no permite, desde luego, ver qué factores han llevado a

la introducción de los cambios técnicos. Sin duda, uno de ellos ha sido la existencia de convenios internacionales, que ha afectado en general a todos los países desarrollados (De Bruyn, 1997), y los objetivos establecidos a nivel de la Unión Europea.

Otro factor es la presión que en algunos casos han ejercido los sectores afectados; así, hace años se desencadenó un conflicto de protesta por parte de poblaciones afectadas y grupos ecologistas por las elevadas emisiones producidas por la central térmica de carbón de Andorra (provincia de Teruel), que llevó a una demanda por delito ecológico que acabó con un compromiso por parte de la empresa de asumir una importante inversión en desulfuración de gases.

#### LAS EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO ( $\text{NO}_x$ )

A diferencia de las emisiones de  $\text{SO}_2$ , en el caso de los óxidos de nitrógeno los focos de emisión son mucho más difusos y, por tanto, mucho más difíciles de controlar. El sector del transporte representa en



torno al 60% de las emisiones (cuadro 4). En general, la mayoría de sectores habrían aumentado sus emisiones en valores absolutos. Esta evolución no es extraña: a pesar de que actualmente muchos vehículos han reducido significativamente las emisiones por kilómetro recorrido, la expansión del transporte por carretera (de mercancías y de personas) en las últimas décadas ha sido tal que la mayor «eficiencia ambiental» ha sido más que compensada por la mayor «escala de actividad». Otro sector con un papel relevante sería el de producción y transformación de energía, fundamentalmente por la emisión en la generación de electricidad en centrales térmicas convencionales.

De nuevo, la estimación, tomando el PIB *per cápita* como única variable explicativa, presenta problemas de autocorrelación. Dada la influencia del sector transporte en el nivel de emisiones de  $\text{NO}_x$ , en la estimación final se ha incluido como variable explicativa, además de una tendencia temporal, el consumo de energía primaria del sector transporte *per cápita* (datos de AIE, varios años):

$$\ln(\text{NO}_x/\text{POB})_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{transporte}/\text{POB})_t + \beta_2 \text{tendencia} + \varepsilon_t$$

El signo de los parámetros estimados se ajusta a lo esperado (cuadro 5). La inclusión del PIB *per cápita* en el modelo resultó ser no significativa, por lo que la probable influencia positiva del nivel de renta sobre las emisiones es indirecta y se manifiesta en que a mayores niveles de renta suele dispararse el uso del vehículo privado. El papel del transporte es clave para explicar la dinámica de las emisiones; junto a este factor también se detecta un coeficiente negativo significativo para la tendencia temporal, lo que reflejaría cambios técnicos que, sin embargo, no evitan el aumento de las emisiones.

#### LAS EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El CO se genera en la combustión incompleta de combustibles y la evolución temporal muestra que este contaminante es, junto con el dióxido de azufre, el único que ha descendido claramente en el

CUADRO 4  
EMISIONES DE  $\text{NO}_x$  EN LOS DIFERENTES SECTORES

	1990		2001		% variación
	Toneladas	% del total	Toneladas	% del total	
Transporte por carretera	533.340	41,99	547.189	38,99	2,60
Otros modos de transporte	240.552	18,94	274.365	19,55	14,06
Producción y transformación energía	258.599	20,36	313.072	22,31	21,06
Plantas de combustión industrial	134.373	10,58	163.832	11,67	21,92
Otros	103.366	8,13	105.045	7,49	1,62
<b>TOTAL</b>	<b>1.270.200</b>	<b>100,00</b>	<b>1.403.503</b>	<b>100,00</b>	<b>10,49</b>

FUENTE: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

CUADRO 5  
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN.  
LA VARIABLE DEPENDIENTE ES  $\ln(\text{NO}_x/\text{POB})_t$ , 1980-2001

Variable		Coeficiente	Estadístico-t
Constante	$(\beta_0)$	2,06	2,78
$\ln(\text{transporte}/\text{POB})_t$	$(\beta_1)$	0,72	7,69
Tendencia	$(\beta_2)$	-0,01	-3,61

$R^2$  ajustado: 0,95

Durbin-Watson: 2,02

FUENTE: Elaboración propia.

período considerado, aunque con una trayectoria algo más errática que la del  $\text{SO}_2$  (gráfico 2). El análisis sectorial confirma que la mayor parte de las emisiones se originan en el transporte rodado por carretera (cuadro 6).

No obstante, se detecta cómo tanto el valor absoluto como el porcentaje de este sector disminuyen notablemente entre 1990 y 2001, lo que se debería fundamentalmente a las mejoras en la combustión de los vehículos, que en este caso sí habrían más que compensado el aumento del parque móvil.

Por otro lado, otro sector con un nivel importante de emisiones sería el de las plantas de combustión industrial, sector que habría mantenido sus emisiones (aumentando el porcentaje sobre el total), así como el de los procesos industriales sin combustión, sector que habría experimentado el mayor crecimiento en los 11 años para los que disponemos de datos desagregados por sectores de la serie revisada; la mayor parte de emisiones de este último sector se generan en la indus-

tria del hierro y el acero y en la industria de los metales no ferreos.

En cuanto a la correlación estadística entre estas emisiones y el PIB *per cápita*, una primera estimación, incluyendo únicamente el logaritmo de la renta como variable independiente, daba problemas de autocorrelación. La estimación corrigiendo la autocorrelación indica que no existe correlación entre PIB y emisiones, y únicamente la variable de energía utilizada en transporte por carretera resultaba significativa, mientras que al realizar la estimación en diferencias la constante resulta significativa y negativa, lo que en principio mostraría una tendencia a disminuir las emisiones a lo largo del tiempo.

Cabe suponer que las mejoras introducidas en los motores de combustión habrían contribuido a disminuir las emisiones en algunos casos, debido a las características de los nuevos modelos que se comercializan al mismo tiempo en distintos países con diferente nivel de renta *per cápita*.



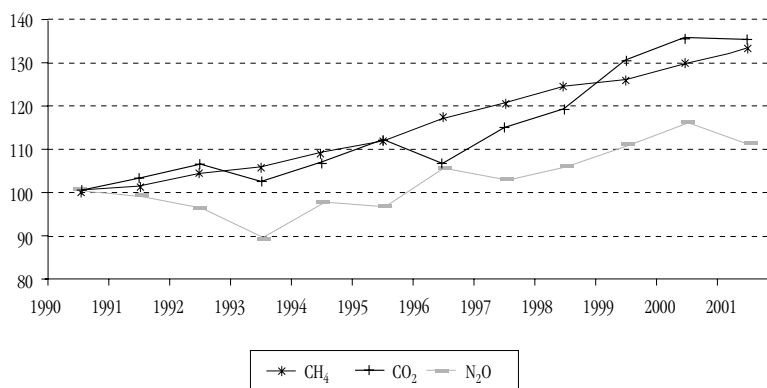
bre Cambio Climático, el Protocolo de Kyoto de 1997 representó el primer compromiso cuantitativo preciso sobre limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En este sentido, puede considerarse un avance importante (sobre todo con la perspectiva actual de que la ratificación del compromiso por un número suficiente de países no está asegurada y, en todo caso, los Estados Unidos se han desvinculado de él), a pesar de la moderación de los objetivos para los países afectados y del hecho de que, incluso de cumplirse los objetivos del protocolo, ni tan sólo se aseguraría que las emisiones mundiales se estabilizasen. Las grandes desigualdades entre diferentes bloques del mundo y la negativa de los países ricos a cualquier esquema de acuerdo que partiese del reconocimiento de la igualdad de derechos de todos los habitantes del mundo a utilizar la atmósfera, hacía inviable cualquier acuerdo mucho más ambicioso.

Dentro del reparto de «derechos de emisión», la Unión Europea, como un bloque —como una «burbuja» en la jerga de las negociaciones—, se comprometió a que las emisiones anuales promedio de 2008-2012 de los seis principales gases de efecto invernadero fuesen en conjunto un 8% inferiores a las del año base considerado, es decir 1990 (9). Dentro de la distribución interna de responsabilidades decidida posteriormente por la UE, a España, con unas emisiones *per cápita* inferiores a la media de la UE, se le permite aumentar las emisiones en un 15%, mientras que otros países tienen compromisos de reducción muy superiores al 8%, como son los casos de Alemania y Dinamarca, que tendrían que reducir las emisiones en un 21%.

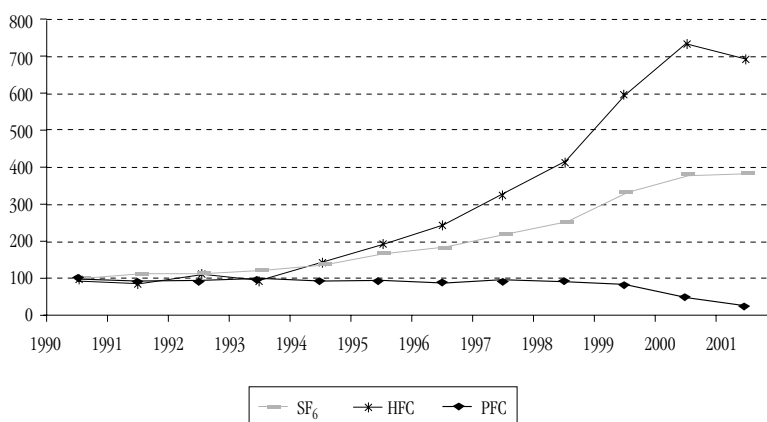
En este apartado veremos cómo ya se ha desbordado ampliamente este objetivo, de forma que el contraste entre lo que se dice en los foros internacionales y se ratifica por las instituciones parlamentarias y lo que en realidad sucede no puede ser mayor. Vale la pena recordar que estamos ante un problema global —sobre el cual los gobiernos individuales tienen, en principio, pocos incentivos para actuar—, que se relaciona con multitud de activida-

GRÁFICO 5  
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO  
(CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O Y CH<sub>4</sub>). 1990-2001  
1990=100



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos del M<sup>º</sup> de Medio Ambiente.

GRÁFICO 6  
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO  
(SF<sub>6</sub>, HFC Y PFC). 1990-2001  
1990=100



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos del M<sup>º</sup> de Medio Ambiente.

des de producción y consumo y, en primer lugar, con el sistema energético, por lo que los cambios exigidos para limitar —y mucho más para reducir— las emisiones han de ser de largo alcance.

En los gráficos 5 y 6 aparece la evolución, respecto al año 1990, de las emisiones de los seis gases considerados. Para su interpretación es necesario considerar que la actual importancia relativa de cada gas en el aumento del efecto invernadero es muy diferente, como se ilustra en el cuadro 8, basado en los datos españoles del año 2001 y siempre aplicando los factores de conversión del IPCC (10).

La dinámica de las emisiones totales depende sobre todo de los tres gases de efecto invernadero ya analizados en apartados anteriores —y muy especialmente del CO<sub>2</sub>—. El papel de los carburos hidrofluorados (HFC, sustitutivos de los CFC en diversos usos, como equipos de refrigeración y aire acondicionado o en aerosoles) y sobre todo del hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>, que se utiliza en equipos eléctricos) y de los carburos perfluorados (PFC, ligados a la producción de aluminio) es hoy bastante marginal. En cualquier caso, el total de emisiones de estos tres gases aumentó a pesar de la fuerte disminución en los últimos años de los PFC.

En el gráfico 7 aparece la evolución de las emisiones totales del conjunto de los seis gases considerados, evidenciándose el espectacular aumento de las emisiones: un 32% respecto al año base (11), siendo España el país de la UE, junto con Irlanda, que más se está alejando de su compromiso, como ha destacado la Agencia Europea de Medio Ambiente en su último inventario sobre emisiones publicado en mayo de 2003.

## CONCLUSIONES

Desde principios de los noventa el análisis de las relaciones entre crecimiento económico y presiones ambientales se ha visto muy influido por la que se conoce como hipótesis de la «Curva de Kuznets Ambiental». Según esta hipótesis, a partir de un determinado nivel de renta, un mayor crecimiento económico iría acompañado de mejoras en la calidad ambiental.

En el primer apartado de este artículo discutimos la escasa base teórica y empírica para sostener con carácter general esta hipótesis, que como máximo sirve para explicar la evolución de algún problema ambiental específico.

En los dos apartados siguientes hemos aportado evidencia empírica sobre la relación entre el PIB *per cápita* y diversos contaminantes atmosféricos en el caso español. En concreto, hemos analizado los datos, para el período entre 1980 y 2001, de ocho contaminantes atmosféricos de características muy diferentes, algunos con efectos globales y otros con efectos de carácter más regional y/o local, algunos con multitud de focos de emisión y otros con las emisiones mucho más concentradas.

Sólo en el caso del SO<sub>2</sub>, y en menor medida del monóxido de carbono (CO), las emisiones disminuyen, como cabría esperar de cumplirse la CKA, suponiendo que España hubiese alcanzado un nivel de renta *per cápita* suficientemente elevado como para situarse ya en el tramo decreciente de dicha curva.

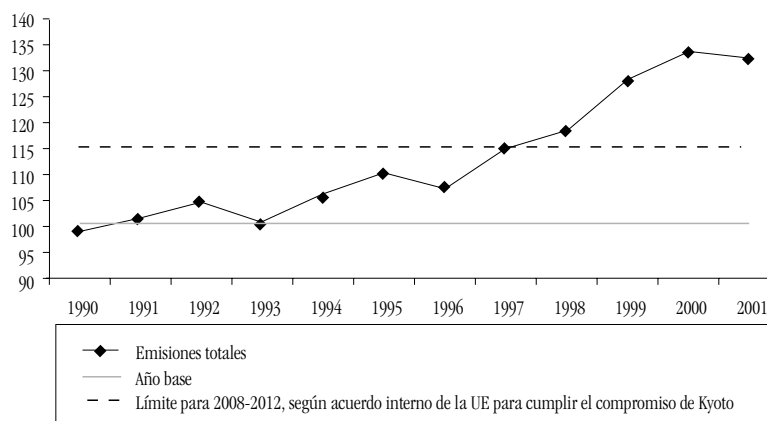
Este resultado concuerda con las previsiones teóricas y la evidencia empírica internacional, que apuntan que cabe espe-

CUADRO 8  
PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE EMISIONES  
DE CO<sub>2</sub>-EQUIVALENTE EN ESPAÑA. 2001

CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SF <sub>6</sub>	HFC	PFC	Total
80,97	10,67	6,85	0,06	1,40	0,06	100

FUENTE: Elaboración propia a partir de datos del M<sup>e</sup> de Medio Ambiente.

GRÁFICO 7  
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES TOTALES DE CO<sub>2</sub>-EQUIVALENTE 1990-2001,  
RESPECTO AL AÑO BASE DEL PROTOCOLO DE KYOTO



FUENTE: Elaboración propia a partir de datos del M<sup>e</sup> de Medio Ambiente.

rar una mayor y más efectiva respuesta institucional cuando los efectos de las emisiones son más perceptibles a nivel local y relativamente fáciles de evitar, aunque ni siquiera en estos casos se encuentra una relación clara entre crecimiento de la renta y disminución de las emisiones.

En el último apartado se analiza, en cambio, la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España, cuyos costes previsibles son globales y en gran parte a largo plazo. Estas características y la falta de voluntad política para cumplir con los compromisos derivados del Protocolo de Kyoto explican que las emisiones se hayan disparado, más que doblando ya el débil compromiso de no aumentarlas en más del 15% para el año 2008-2012 respecto al nivel de 1990.

Sólo en los últimos meses, ante la reciente directiva sobre comercio de emisiones en la Unión Europea, que puede comportar un elevado coste de compra de derechos para las empresas españolas, se

oyen lamentos por parte de las grandes empresas y de las asociaciones empresariales, mostrando una preocupación que contrasta con la evidente despreocupación durante los años anteriores por participar en cualquier estrategia seria de reducción de las emisiones.

(\*) Los autores desean agradecer la financiación que han obtenido por parte del Instituto de Estudios Fiscales para profundizar en el tema objeto de este artículo. Jordi Roca agradece el apoyo del proyecto PB98-0868. Emilio Padilla agradece el apoyo de los proyectos BEC2000-415 y 2001SGR-160.

## NOTAS

(1) Los datos proceden del inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). De los datos totales hemos descon-

tado las «emisiones naturales», ya que las emisiones relevantes para el estudio de la relación entre crecimiento económico y presión ambiental son las emisiones antropogénicas. La serie ha sido revisada por el mismo Ministerio para los años posteriores a 1990, de forma que para analizar la evolución de las emisiones hemos elaborado unas series (con el año 1980 como índice = 100) estableciendo un enlace entre los datos 1980-1990 de las series iniciales y los datos 1990-2001 de las nuevas series.

(2) Los otros tres gases contemplados por el protocolo, los HFC, los PFC y el SF<sub>6</sub>, son considerados en un apartado posterior de este artículo, aunque para ellos sólo se disponen de datos para el período 1990-2001.

(3) Los datos del PIB *per cápita* proceden del INE. Dado el cambio de base que ha efectuado el INE, para tener una serie a precios constantes para todo el período hemos enlazado en el año 1997 la serie a precios constantes de 1986 con la serie a precios constantes de 1995.

(4) Todos los comentarios sobre evolución desagregada por actividades de los diferentes contaminantes se refieren sólo al período 1990-2001, dado que hasta el momento sólo existen series revisadas para estos años, y una comparación según actividades que se refiriese a un período más amplio combinaría datos no estrictamente comparables. Los grandes «sectores» considerados en la desagregación de las series del Ministerio son: Combustión en la producción y transformación de energía, Plantas de combustión no industrial, Plantas de combustión industrial, Procesos industriales sin combustión, Extracción y distribución de combustibles fósiles y energía geotérmica, Uso de disolventes y otros productos, Transporte por carretera, Otros modos de transporte y maquinaria móvil, Tratamiento y eliminación de residuos y Agricultura.

(5) Los resultados obtenidos, tanto en este apartado como en los siguientes, deben tomarse con suma cautela, dado el escaso número de observaciones disponibles. En todos los casos se ha llevado a cabo un análisis de series temporales para contrastar que no se realicen regresiones espurias: se ha comprobado que las distintas series son integradas de orden uno y se ha contrastado la estacionariedad de los residuos generados por las estimaciones.

(6) En 1980 el uso de carbón representaba un 18,1% del total de energía primaria y la energía nuclear tan sólo el 2%. En 1985 el carbón llegó a representar el 27,2% (el máximo valor del período analizado), mientras que la energía nuclear alcanzó el 16,6% en el año 1989.

(7) Antes de 1998, la tarifa eléctrica incluía una partida que explícitamente servía para subvencionar el carbón «autóctono». La Unión Europea consideró ilegal esta práctica argumentando que cualquier ayuda de este tipo se tenía que realizar, en todo caso, vía Pre-

supuestos Generales del Estado. Entonces desapareció la cuantía en cuestión, pero simplemente se sustituyó por el impuesto sobre la electricidad.

(8) Hemos tomado el año 1996 como referencia porque no disponemos de la desagregación provincial de los datos de la nueva serie de emisiones.

(9) Los seis gases contemplados por el protocolo son: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, los HFC, los PFC y el SF<sub>6</sub>. No se incluyen los CFC por estar ya regulados por otro acuerdo internacional (el Protocolo de Montreal). Para los tres últimos gases se permite considerar 1995 como año base. El compromiso se refiere al agregado de los seis gases que se suman en toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente según los valores de potencial de calentamiento global fijadas por el segundo informe del IPCC (1995), valores basados en los efectos de los gases de efecto invernadero en un horizonte temporal de 100 años. Son estas equivalencias las que hemos utilizado en los cálculos de este artículo. Para ser más precisos, el compromiso se refiere no a las «emisiones brutas» de gases de efecto invernadero, sino a las «emisiones netas», es decir, pudiendo descontar el carbono adicional fijado por el posible aumento de la superficie forestal.

(10) Los factores de conversión son: 1 para el CO<sub>2</sub>, 21 para el CH<sub>4</sub>, 310 para el N<sub>2</sub>O, 23.900 para el SF<sub>6</sub>, mientras que para el grupo de los PFC oscilan, dependiendo del gas concreto, entre 6.500 y 9.200, y para el grupo de los HFC entre 140 y 11.700.

(11) Según los datos para 2002 de Nieto y Santamarta (2003), la ligera disminución en el año 2001 se vio seguida por un importante aumento de las emisiones en el año 2002, con lo cual el aumento acumulado respecto al año base se situaría en el 38%. Dado que el año base de algunos gases es 1995, el valor correspondiente a 1990 no es exactamente 100 sino algo inferior.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA KLINK, F. (ed.) (1995): *Economía de los recursos naturales: un enfoque institucional*. Textos de S. V. Ciriacy-Wantrup y K. W. Kapp, Madrid, Fundación Argentaria.

ARROW, K., BOLING, B., COSTANZA, R., DASGUPTA, P., FOLKE, C., HOLLING, S., JANS-SON, B. O., LEVIN, S., MÄLER, K. G., PERRINGS, C. y PIMENTEL, D. (1995): «Economic growth, carrying capacity and the environment», *Science*, vol. 268, pp. 520-521.

BECKERMAN, W. (1992): «Economic growth and the environment: whose growth? Whose environment?», *World Development*, vol. 20, pp. 481-496.

BROMLEY, D. W. (1991): «The ideology of efficiency: searching for a theory of policy

analysis», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 19, pp. 181-194.

DASGUPTA, S., LAPLANTE, B., WANG, H. y WHEELER, D. (2002): «Confronting the environmental Kuznets curve», *Journal of Economic Perspectives*, vol. 16, pp. 147-168.

DE BRUYN, S. M. y OPSCHOOR, J. B. (1997): «Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations», *Ecological Economics*, vol. 20, pp. 255-268.

DE BRUYN, S. M. y HEINTZ, R. J. (1999): «The environmental Kuznets curve hypothesis», en Van Den Bergh, J. (ed.): *Handbook of Environmental and Resource Economics*. Edward Edgar, Cheltenham, pp. 656-677.

DIJKGRAAF, E. y VOLLEBERGH, H. R. J. (1998): «Growth and/or (?) Environment: Is there a Kuznets Curve for Carbon Emissions», documento presentado en 2<sup>nd</sup> Biennial Meeting of the European Society for Ecological Economics, Ginebra, 4-7 marzo.

EKINS, P. (1997): «The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence», *Environment and Planning A*, vol. 29, pp. 805-830.

EUROSTAT (1999): *Towards Environmental Pressure Indicators for the EU*, Comisión Europea/Eurostat, Luxemburgo.

GIAMPIETRO, M. (1999): «Economic growth, human disturbance to ecological systems, and sustainability» en Walker, L. R. (ed.), *Ecosystems of Disturbed Ground*, Elsevier, Amsterdam.

GROSSMAN, G. M. y KRUEGER, A. B. (1991): *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*, NBER Working Paper 3914, National Bureau of Economic Research (NBER), Cambridge.

HINTERBERGER, F., LUKS, F. y SCHMIDT-BLEEK, F. (1997): «Material flows vs. «natural capital» What makes an economy sustainable?», *Ecological Economics*, vol. 13, pp. 1-14.

HOLTZ-EAKIN, D. y SELDEN, T. M. (1995): «Stoking the fires? CO<sub>2</sub> emissions and economic growth», *Journal of Public Economics*, vol. 57, pp. 85-101.

KUZNETS, S. (1955): «Economic growth and income inequality», *American Economic Review*, vol. 45, pp. 1-28.

LÓPEZ, R. (1994): «The environment as a factor of production: the effects of economic growth and trade liberalization», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 27, pp. 163-184.

MCCONNELL, K. (1997): «Income and demand for environmental quality», *Environment and Development Economics*, vol. 2, pp. 383-399.

MURADIAN, R. y MARTÍNEZ ALIER, J. (2001): «Trade and environment: from a «Southern» perspective», *Ecological Economics*, vol. 36, pp. 281-297.

- NIETO, J. y SANTAMARTA, J. (2003): «Evolución de los gases de efecto invernadero en España (1990-2002)», Comisiones Obreras / revista WorldWatch, Madrid.
- PANAYOTOU, T., (1993): «Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development», Working Paper WP 238, Technology and Environment Programme, International Labour Office, Ginebra.
- ROCA, J. (2003): «Do individual preferences explain the Environmental Kuznets curve?», *Ecological Economics*, vol. 45, pp. 3-10.
- ROCA, J., PADILLA, E., FARRÉ, M. y GALLETTO, V. (2001): «Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis», *Ecological Economics*, vol. 39, pp. 85-99.
- ROCA, J. y ALCÁNTARA, V. (2002): «Economic growth, energy use, and CO<sub>2</sub> emissions», en Blackwood, J. R. (ed.), *Energy Research at the Cutting Edge*, Novascience, Nueva York.
- SCHIPPER L. (2000): «On the rebound: the interaction of energy efficiency, energy use and economic activity. An introduction», *Energy Policy*, vol. 28, pp. 351-353.
- SELDEN, T. M. y SONG, D. (1995): «Neoclassical growth, the J curve for abatement and the inverted U curve for pollution», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 29, pp. 162-168.
- SHAFIK, N. (1994): «Economic development and environmental quality: An econometric analysis», *Oxford Economic Papers*, vol. 46, pp. 757-773.
- SHAFIK, N. y BANDYOPADHYAY, S. (1992): «Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence», *Background Paper for World Development Report 1992*, World Bank, Washington D.C.
- SPANGERBERG, J. H., HINTERBERGER, F., MOLL, S. y SCHÜTZ, H. (1998): «Material Flow Analysis, TMR and the mips Concept: A Contribution to the Development of Indicators for Measuring Changes in Consumption and Production Patterns», *International Journal on Sustainable Development*, vol. 1, pp. 491-505.
- STERN, D. I. y COMMON, M. S. (2001): «Is there an environmental Kuznets curve for sulfur?», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 41, pp. 162-178.
- STERN, D. I., COMMON, M. S. y BARBIER, E. B. (1996): «Economic growth, trade and the environment: implications for the environmental Kuznets curve», *World Development*, vol. 24, pp. 1151-1160.
- STERN, D. I. (2003): «The Environmental Kuznets Curve», *Internet Encyclopaedia of Ecological Economics*, International Society for Ecological Economics, disponible en <http://www.ecologicaleconomics.org/publica/encyc.htm>.
- SURI, V. y CHAPMAN, D. (1998): «Economic Growth, trade and the environment: implications for the environmental Kuznets curve», *Ecological Economics*, vol. 25, pp. 195-208.
- TORRAS, M. y BOYCE, J. K. (1998): «Income, inequality and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve», *Ecological Economics*, vol. 25, pp. 147-160.
- UNRUH, G. C. y MOOMAW, W. R. (1998): «An alternative analysis of apparent EKC-type transitions», *Ecological Economics*, vol. 25, pp. 221-229.
- WORLD BANK (1992): *World Development Report*, Oxford University Press, Nueva York.